

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11) Publication number : 2000-029217

(43) Date of publication of application : 28.01.2000

(51) Int.CI.

G03F 7/039

G06F 17/50

H01L 21/027

(21) Application number : 10-195837

(71) Applicant : NEC CORP

(22) Date of filing : 10.07.1998

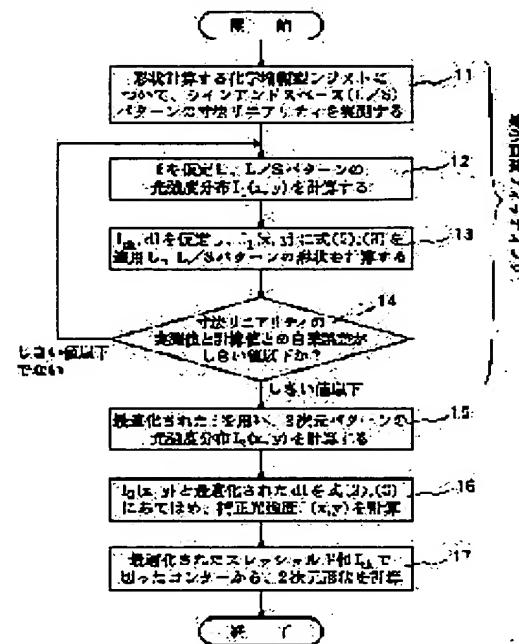
(72) Inventor : INUI HIROTOMO

(54) CALCULATING METHOD OF CHEMICALLY AMPLIFYING RESIST FORM AND RECORDING MEDIUM

(57) Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To accurately calculate a resist form even when a chemically amplifying type resist is used to simulate the production process of a semiconductor device.

SOLUTION: The light intensity distribution $I_2(x, y)$ of a chemically amplifying type resist during exposure is calculated (step 15). The diffusion of an acid catalyst in the chemically amplifying type resist accompanied with post baking treatment is approximated by a Gaussian distribution, and the light intensity distribution $I_2(x, y)$ is corrected by the Gaussian distribution (step 16) to calculate the form of a two-dimensional pattern of the chemically amplifying type resist (step 17). The parameter characterizing the Gaussian distribution (the diffusion length d_1) is preliminarily determined by a least squares fitting method or the like based on the measured data when an one-dimensional line-and-space pattern is practically exposed (steps 12 to 14).



LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 10.07.1998

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number] 3223965

[Date of registration] 24.08.2001

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

THIS PAGE BLANK (USPTO)

Copyright (C) 1998,2003 Japan Patent Office

THIS PAGE BLANK (USPTO)

(19)日本国特許庁 (JP)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開2000-29217

(P2000-29217A)

(43)公開日 平成12年1月28日(2000.1.28)

(51)Int.Cl.⁷
G 0 3 F 7/039
G 0 6 F 17/50
H 0 1 L 21/027

識別記号
6 0 1

F I
G 0 3 F 7/039
G 0 6 F 15/60
H 0 1 L 21/30

6 0 1 2 H 0 2 5
6 6 6 S 5 B 0 4 6
5 0 2 R

マーク(参考)

(21)出願番号 特願平10-195837
(22)出願日 平成10年7月10日(1998.7.10)

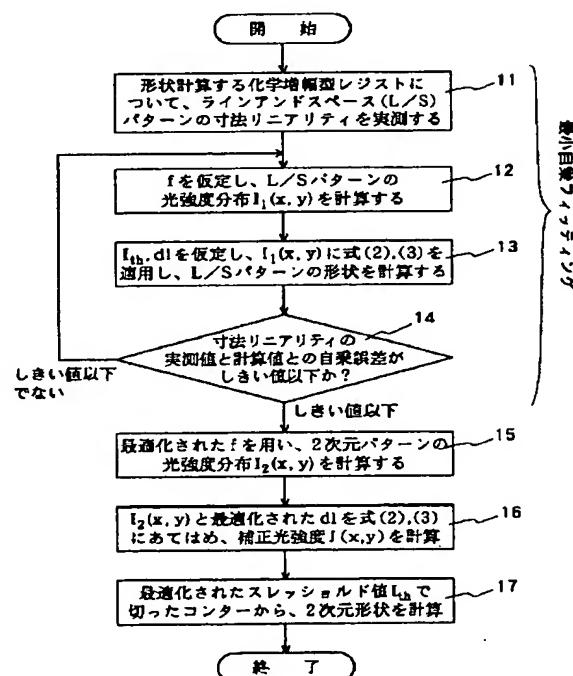
(71)出願人 000004237
日本電気株式会社
東京都港区芝五丁目7番1号
(72)発明者 乾 博智
東京都港区芝五丁目7番1号 日本電気株
式会社内
(74)代理人 100070219
弁理士 若林 忠 (外4名)
F ターム(参考) 2H025 AA00 AB16 AD01 AD03 BE00
BE10 BG00 CC20 FA03 FA29
5B046 AA08 BA08 DA02 JA04

(54)【発明の名称】 化学增幅型レジスト形状の計算方法及び記録媒体

(57)【要約】

【課題】半導体装置の製造プロセスをシミュレーションする際に、化学增幅型レジストを用いる場合においても、レジスト形状を正確に計算できるようにする。

【解決手段】化学增幅型レジストでの露光時の光強度分布 $I_2(x, y)$ を計算し(ステップ1~5)、ポストベーク処理に伴う化学增幅型レジスト内部での酸触媒の拡散をガウス分布で近似し、ガウス分布によって光強度分布 $I_2(x, y)$ を補正し(ステップ1~6)、化学增幅型レジストの2次元パターンの形状計算を行う(ステップ1~7)。ガウス分布を特徴づけるパラメータ(拡散長 d)は、1次元ラインアンドスペースを実際に露光したとき(ステップ1~11)の実測データに基づき、最小自乗フィッティングなどで予め決定しておく(ステップ1~14)。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 化学增幅型レジストの形状を計算機シミュレーションによって計算する方法であって、
ポストベーク処理に伴う前記化学增幅型レジスト内部での触媒種の拡散をガウス分布で近似し、
前記化学增幅型レジストでの露光時の光強度分布を計算し、
前記ガウス分布によって前記光強度分布を補正し、
前記化学增幅型レジストの2次元パターンの形状計算を行う、化学增幅型レジスト形状の計算方法。

【請求項2】 化学增幅型レジストの形状を計算機シミュレーションによって計算する方法であって、
ポストベーク処理に伴う前記化学增幅型レジスト内部での触媒種の拡散をガウス分布で近似し、
シミュレーション対象のマスクパターンを用いたとして前記化学增幅型レジストでの露光時の光強度分布を計算し、
前記ガウス分布によって前記光強度分布を補正し、
前記化学增幅型レジストの2次元パターンの形状計算を行い、
前記形状計算によって得られた2次元パターンが所望の形状となるまで、前記マスクパターンを補正しながら、
前記光強度分布の計算と前記光強度分布の補正と前記2次元パターンの形状計算とを繰り返す、化学增幅型レジスト形状の計算方法。

【請求項3】 前記ガウス分布が拡散長をパラメータとして前記触媒種の等方拡散を近似するものであり、
前記化学增幅型レジストに対して1次元パターンの露光とポストベーク処理とを実際に実行して寸法リニアリティを実測し、その測定結果から前記拡散長を抽出する、
請求項1または2に記載の化学增幅型レジスト形状の計算方法。

【請求項4】 前記化学增幅型レジストの膜厚に起因するフォーカスずれの補正を実行する、請求項1乃至3いずれか1項に記載の化学增幅型レジスト形状の計算方法。

【請求項5】 化学增幅型レジストの形状を計算機シミュレーションによって計算するためのプログラムを格納した、計算機が読み取り可能な記録媒体であって、
前記計算機に、ポストベーク処理に伴う前記化学增幅型レジスト内部での触媒種の拡散をガウス分布で近似する工程と、前記化学增幅型レジストでの露光時の光強度分布を計算する工程と、前記ガウス分布によって前記光強度分布を補正する工程と、前記化学增幅型レジストの2次元パターンの形状計算を行う工程と、を実行させるプログラムを格納した記録媒体。

【請求項6】 化学增幅型レジストの形状を計算機シミュレーションによって計算するためのプログラムを格納した、計算機が読み取り可能な記録媒体であって、
前記計算機に、ポストベーク処理に伴う前記化学增幅型

レジスト内部での触媒種の拡散をガウス分布で近似する工程と、シミュレーション対象のマスクパターンを用いたとして前記化学增幅型レジストでの露光時の光強度分布を計算する工程と、前記ガウス分布によって前記光強度分布を補正する工程と、前記化学增幅型レジストの2次元パターンの形状計算を行う工程と、前記形状計算によって得られた2次元パターンが所望の形状となるまで、前記マスクパターンを補正しながら、前記光強度分布を計算する工程、前記光強度分布を補正する工程及び前記2次元パターンの形状計算を行う工程を繰り返す工程と、を実行させるプログラムを格納した記録媒体。

【請求項7】 前記ガウス分布が拡散長をパラメータとして前記触媒種の等方拡散を近似するものであり、
前記プログラムが、前記化学增幅型レジストに対して1次元パターンの露光とポストベーク処理とを実際に実行して寸法リニアリティを測定したときの測定結果から前記拡散長を最小自乗フィッティングによって抽出する工程を、さらに前記計算機に実行させるものである、請求項6または7に記載の記録媒体。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は、半導体装置の製造プロセスを計算機でシミュレーションするプロセスシミュレーションに関し、特に、化学增幅型レジストの形状をシミュレーションによって求める化学增幅型レジスト形状の計算方法に関する。

【0002】

【従来の技術】 半導体装置（半導体デバイス）の製造プロセスのシミュレーションすなわちプロセスシミュレーションは、半導体装置を実際に製造することなく、リソグラフィプロセス、イオン注入プロセス、拡散プロセスなどの半導体装置の製造過程における各プロセスを計算機を用いてシミュレーションし、各部分の形状や不純物の濃度分布などを予測するものである。特に、リソグラフィプロセスのシミュレーションは、予め与えられたマスクパターンを用いて、半導体基板上に塗布されたフォトレジストに対して露光を行ったとして、露光・現像後のフォトレジストの形状がどうなるかを計算するものである。

【0003】 従来、リソグラフィシミュレーションにおいて、フォトレジストの2次元形状を高速に計算する方法として、Burn Jen Lin, IEEE Trans. on Electron Devices, Vol. ED-27, No. 5, pp. 931-938, 1980には、ウェハ上の光強度分布計算を用いる方法が開示され、この方法は広く使用されている。ウェハ上の光強度分布計算を用いる方法では、まず、ウェハ上の光強度分布 $I(x, y)$ を下記のホプキンスの式によって計算する。

【0004】

【数1】

$$I(x, y) = \iint S(p, q) \left| \iint F(x_0, y_0) K(x-x_0, y-y_0) \exp\left(\frac{i2\pi}{\lambda(px_0+qy_0)}\right) dx_0 dy_0 \right|^2 dp dq \quad (1)$$

ここで、 x, y はウェハ上の点を表わす2次元座標値、
 S は有効光源を表わす関数であって光源上の点(p, q)
 での光の強さを表わす関数、 F はマスク上の点(x_0, y_0)におけるマスク透過率を表わす関数、 K は瞳関数、
 λ は露光波長、 i は虚数単位 ($i^2 = -1$)、 π は円周率である。

【0005】また、瞳関数 K は、

【0006】

【数2】

$$K(x, y) = K_0(x, y) \exp\left(\frac{2\pi i f N A^2 (x^2 + y^2)}{\lambda a^2}\right)$$

で表わされる。ここで f はフォーカス値、 $N A$ は開口数、 a は開口半径である。 $K_0(x, y)$ は、

【0007】

【数3】

$$K_0(x, y) = \begin{cases} 1 & [(x^2 + y^2)/a^2 \leq 1] \\ 0 & [(x^2 + y^2)/a^2 > 1] \end{cases}$$

で表わされる。

【0008】そして、上記の式(1)によって求めた光強度分布 $I(x, y)$ において、光強度スレッショルド値 I_{th} での光強度分布のセンター（等強度線）から、フォトレジスト形状を計算している。

【0009】図5は、上述した従来のリソグラフィシミュレーションの処理手順を示すフローチャートである。まず、ウェハ上の2次元パターンの光強度分布 $I(x, y)$ を計算し（ステップ51）、その後、光強度スレッショルド値 I_{th} で切ったセンターから2次元レジスト形状を計算している（ステップ52）。

【0010】

【発明が解決しようとする課題】近年の半導体装置の微細化に伴って露光に用いる光の波長が短くなり、それに伴って、従来のフォトレジストでは、解像度が十分でない、感度が十分でない、などの問題点が生じるようになってきた。この問題点に対応するために、感光剤（酸発生剤）と溶解阻止剤（あるいは架橋剤）とを含む化学增幅型レジストが開発されている。化学增幅型レジストを用いたリソグラフィ工程では、露光によって感光剤が分解して酸を生成し、その後の加熱処理（ポストベーク処理）において、酸がレジスト中を拡散しそれと同時に酸を触媒とする溶解阻止剤（あるいは架橋剤）の反応が起こる。化学增幅型レジストでは、触媒反応を利用することによって高感度化が図られるとともに、感光剤の濃度を下げられるので透明性が向上し、また、解像性の向上を図ることができる。

【0011】しかしながら、このような化学增幅型レジストのレジスト形状をシミュレーションする場合、上述した従来の方法では、ポストベーク時の酸の拡散による影響を考慮していないため、特にフォトレジストの種類が変わったときに、形状の計算精度が悪くなるという問題点が生じる。

【0012】本発明の目的は、化学增幅型レジストを用いる場合においてもシミュレーションによってレジスト形状を正確に計算することができる形状計算方法を提供することにある。また本発明の別の目的は、化学增幅型レジストを用いる場合のリソグラフィシミュレーションを高精度に行うことができるプログラムを格納した計算機読み取り可能な記録媒体を提供することにある。

【0013】

【課題を解決するための手段】本発明の化学增幅型レジスト形状の計算方法は、リソグラフィプロセスを実行したときの化学增幅型レジストの形状を計算機シミュレーションによって計算する方法であって、化学增幅型レジスト内部での触媒種の拡散をガウス分布で近似し、露光時の化学增幅型レジストでの光強度分布を計算し、そのガウス分布によって光強度分布を補正し、化学增幅型レジスタの2次元パターンの形状計算を行う。ここで触媒種とは、典型的には、化学增幅型レジストのポストベーク処理時に溶解阻止剤（あるいは架橋剤）に対して触媒として作用する酸のことである。

【0014】すなわち本発明においては、酸などの触媒種がレジスト中を等方拡散するものとし、この等方拡散をガウス分布で近似している。触媒種の拡散を近似するガウス分布としては、2次元の等方的なガウス分布を用いることが好ましい。このようなガウス分布は、極大点の位置の2次元座標を別にすれば、分布の広がりの程度を表わす単一のパラメータによって特徴付けられる。ここではこの単一のパラメータのことを拡散長 d_l とする。拡散長 d_l は、化学增幅型レジストの種類やポストベーク処理の時間、温度などによって定まるパラメータであるが、予め、実測に基づいて決めておくことが好ましい。

【0015】さらに本発明においては、光近接効果補正（OPC）を行うのであれば、所望のレジストパターン形状が得られるまで、マスクパターンの補正と、補正されたマスクパターンによる光強度分布の算出と、算出された光強度分布に対するガウス分布による補正とを繰り返すようにすればよい。

【0016】本発明では、リソグラフィプロセスのシミュレーションを行う際に、化学增幅型レジストの1次元L/Sパターンの寸法リニアリティの測定データなどに

に基づきガウス分布によって拡散種の分布を近似し、このガウス分布によってレジストにおける光強度分布を補正し、この補正光強度分布によって2次元パターンの形状分布を行うので、化学增幅型レジスタを使用する場合であっても、精度よくフォトレジスト形状を求めることができるようになる。

【0017】

【発明の実施の形態】次に、本発明の好ましい実施の形態について、図面を参照して説明する。

【0018】図1は本発明の実施の一形態のリソグラフィシミュレーションの処理手順を示すフローチャートであり、ここでは、リソグラフィシミュレーションによって、化学增幅型レジストの形状を計算する。¹⁰

【0019】まず、本実施形態のシミュレーションの基本原理を説明する。

【0020】上述したように、化学增幅型レジストを用*

$$G(x', y') = \frac{1}{2\pi d l^2} \exp\left(\frac{-(x'^2 + y'^2)}{2d l^2}\right) \quad \dots (2)$$

すると、ポストベーク時の酸の分布は、光強度分布 $I(x, y)$ を上述のガウス分布で補正したものであり、この補正したものを補正光強度 $J(x, y)$ とする。補正光強度 $J(x, y)$ は、式(3)に示すように、光強度分布 I *

$$J(x, y) = \iint I(x-x', y-y') G(x', y') dx' dy' \quad \dots (3)$$

こうして求めた求めた補正光強度 $J(x, y)$ は、フォトレジスト形状の露光量依存性に比例しているので、任意のスレッショルド値 I_{th} での補正光強度 $J(x, y)$ のセンターが、対応する露光量でのフォトレジスト形状となる。

【0024】次に、拡散長 $d l$ の求め方について説明する。拡散長 $d l$ は、実測に基づいて予め決めておくことが好ましいのであるが、具体的には、1次元ラインアンドスペース (L/S) パターンのラインとスペースの設計寸法を変えたときの露光後のできあがり寸法の変化をプロットした寸法リニアリティの測定データから、最小自乗フィッティングなどの方法により決定すればよい。拡散長 $d l$ を一度決めておけば、レジスト種類を変えたり、露光条件やポストベーク条件を変えない限り、既に求めた拡散長 $d l$ をそのまま使用することができる。また、レジスト膜厚が厚くなるとフォーカスがずれて光学像が変形する効果が生じるが、拡散長 $d l$ のフィッティングの際に、フォーカスずれの効果を考慮したフォーカス値 f のフィッティングを行うようにするのが好ましい。

【0025】このような手順を用いることにより、化学增幅レジストの酸拡散反応の効果とフォトレジスト膜厚によるフォーカスずれの効果を取り込んでリソグラフィシミュレーションが行われることになり、従来よりも著しく精度良くフォトレジスト形状を計算することが可能

*いたりソグラフィプロセスでは、露光時にレジスト中に酸が生成し、その後のポストベーク処理による熱処理によって、酸が拡散すると同時に酸を触媒とする溶解阻止剤（あるいは架橋剤）の反応が生起する。この実施形態では、ポストベーク時の酸拡散の効果を等方拡散として2次元ガウス分布で近似する。ここで露光直後（ポストベークを行う前）の酸の分布は、露光時の光強度分布 $I(x, y)$ によって近似できる。この光強度分布 $I(x, y)$ は、例えば、従来の技術に示したホブキンスの式（式(1)）によって計算できる。

【0021】一方、ポストベーク時の酸の拡散は、拡散長を $d l$ として（拡散長 $d l$ の決定方法は後述する）、式(2)に示すガウス分布 $G(x', y')$ で近似する。

【0022】

【数4】

²⁰ (x, y) とガウス分布 $G(x', y')$ とのコンボリューション積分で表わされる。

【0023】

【数5】

となる。

【0026】次に、図1を用いて、具体的な手順を説明する。ここでは、拡散長 $d l$ を最小自乗フィッティングで求める際にフォーカス値 f の最適化された値も同時に求めることとするが、フォーカスずれを考慮しない場合には、拡散長 $d l$ だけを最小自乗フィッティングで求めるようにすればよい。

【0027】まず、半導体基板上に塗布した化学增幅型レジストに対し、ラインとスペースの設計寸法を変更ながら、1次元ラインアンドスペース (L/S) パターンを露光し、 L/S パターンの寸法リニアリティを測定する（ステップ11）。

【0028】続いて、最小自乗フィッティングを行うために、ステップ11での L/S パターンの露光に用いたマスクパターンに基づき、フォーカス値 f を仮定して、上述のホブキンスの式（式(1)）などを用い、寸法リニアリティ計算に必要な、 L/S パターン露光時のレジストでの光強度分布 $I_1(x, y)$ を計算する（ステップ12）。次に、光強度スレッショルド値 I_{th} 及び拡散長 $d l$ を仮定し、仮定した拡散長 $d l$ に基づいて式(2)によりガウス分布を求め、ステップ12で求めた光強度分布 $I_1(x, y)$ を式(3)に代入し、高速フーリエ変換アルゴリズムによって式(3)のコンボリューション積分を計算して補正光強度 $J(x, y)$ を求め、この補正光強度 $J(x, y)$ による L/S パターンの形状を求め、寸法リニアリティ計算に必要な、 L/S パターン露光時のレジストでの光強度分布 $I_1(x, y)$ を計算する（ステップ13）。

アリティを求める（ステップ13）。ステップ13において計算により求めた寸法リニアリティデータとステップ11で実測した寸法リニアリティデータとの自乗誤差を求め、自乗誤差が所定のしきい値以下かどうかを判断する（ステップ14）。自乗誤差がしきい値以下であれば、光強度スレッショルド値 I_{th} 、拡散長 d_1 及びフォーカス値 f の最適化が終了したものとして次のステップに進むものとし、しきい値を超えている場合には、光強度スレッショルド値 I_{th} 、拡散長 d_1 及びフォーカス値 f を少しづつ変化させて上記の処理を繰り返すために、ステップ12に戻る。以上のステップ12～14を繰り返すことによって、光強度スレッショルド値 I_{th} 、拡散長 d_1 及びフォーカス値 f の最小自乗フィッティングが行われることになる。

【0029】光強度スレッショルド値 I_{th} 、拡散長 d_1 及びフォーカス値 f の最適化が終了したら、シミュレーション対象となるマスクパターンに基づき、最適化されたフォーカス値 f を使用し、式(1)にしたがって2次元パターンの光強度分布 $I_2(x, y)$ を計算する（ステップ15）。そして、式(2)、(3)にしたがい、この光強度分布 $I_2(x, y)$ と最適化された拡散長 d_1 を用いて補正光強度 $J(x, y)$ を求め（ステップ16）、さらに最適化された光強度スレッショルド値 I_{th} でのこの補正光強度 $J(x, y)$ のセンターを求め、レジストの2次元形状とする（ステップ17）。

【0030】以上の処理により、化学增幅型レジストのポストベーク時の酸拡散と、フォトレジスト膜厚によるフォーカスずれとを考慮したリソグラフィシミュレーションが行われることになり、従来の方法に比べて精度よくレジストの形状が計算されることになる。

【0031】図2は、化学增幅型レジストの寸法リニアリティ曲線を最小自乗法によりフィッティングした結果を示すグラフである。図において実線は上述した実施の形態に基づくものであり、破線は従来の方法に基づく結果を示している。また、○印は測定データを示している。図から明らかなように、本実施の形態の方法によれば、従来の方法に比べて寸法精度が約30%向上した。さらに、このフィッティングから得られた拡散長 d_1 とフォーカス値 f を用いてフォトレジストの2次元形状を計算したところ、従来の方法に比べ、30%以上、寸法精度が向上した。

【0032】以上説明した手順では、光近接効果の補正を行っていないが、本発明においては、光近接効果補正（OPC）を行うことも可能である。

【0033】図3は光近接効果補正を行う場合のシミュレーション手順を示している。この手順では、図1に示す手順のステップ11～14を実行して光強度スレッショルド値 I_{th} 、拡散長 d_1 及びフォーカス値 f の最適化を行った後、マスクパターン補正を行い（ステップ18）、その後、図1に示す手順のステップ15～17を

実行する。そして、得られたフォトレジスト形状が目標とする形状になったかを判断し（ステップ19）、目標とする形状になつていれば処理を終了し、なつていなければ、ステップ18に戻ってマスクパターン補正を再度実行し、ステップ15～17までの処理を繰り返す。図3に示す処理を行うことによって、光近接効果補正を行う場合であっても、化学增幅型レジストのポストベーク時の酸拡散と、フォトレジスト膜厚によるフォーカスずれとを考慮したリソグラフィシミュレーションを実行することが可能になり、より精度よくレジスト形状を計算することができるようになる。

【0034】以上説明したリソグラフィシミュレーションは、それを実現するための計算機プログラムを、スーパーコンピュータやエンジニアリングワークステーション（EWS）などの計算機に読み込ませ、そのプログラムを実行させることによって実行される。リソグラフィシミュレーションを行うためのプログラム（リソグラフィシミュレータ）は、磁気テープやCD-ROMなどの記録媒体によって、計算機に読み込まれる。図4は、上述のリソグラフィシミュレーションを実行する計算機の構成を示すブロック図である。

【0035】この計算機は、中央処理装置（CPU）21と、プログラムやデータを格納するためのハードディスク装置22と、主メモリ23と、キーボードやマウスなどの入力装置24と、CRTなどの表示装置25と、磁気テープやCD-ROM等の記録媒体27を読み取る読み取り装置26とから構成されている。ハードディスク装置22、主メモリ23、入力装置24、表示装置25及び読み取り装置26は、いずれも中央処理装置21に接続している。この計算機では、リソグラフィシミュレーションを行うためのプログラムを格納した記録媒体27を読み取り装置26に装着し、記録媒体27からプログラムを読み出してハードディスク装置22に格納し、ハードディスク装置22に格納されたプログラムを中央処理装置21が実行することにより、リソグラフィシミュレーションが実行される。

【0036】

【発明の効果】以上説明したように本発明は、ガウス分布によって拡散種の分布を近似し、このガウス分布によってレジストにおける光強度分布を補正し、この補正光強度分布によって2次元パターンの形状分布計算を行うので、化学增幅型レジスタを使用する場合であっても、精度よくフォトレジスト形状を求めることができるようになるという効果がある。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の実施の一形態のシミュレーションの手順を示すフローチャートである。

【図2】化学增幅型レジストの寸法リニアリティ曲線を示すグラフである。

【図3】光近接効果補正を行う場合のシミュレーション

9

の手順を示すフローチャートである。

【図4】リソグラフィシミュレーションを行うための計算機の構成を示すブロック図である。

【図5】従来のリソグラフィシミュレーションの手順を示すフローチャートである。

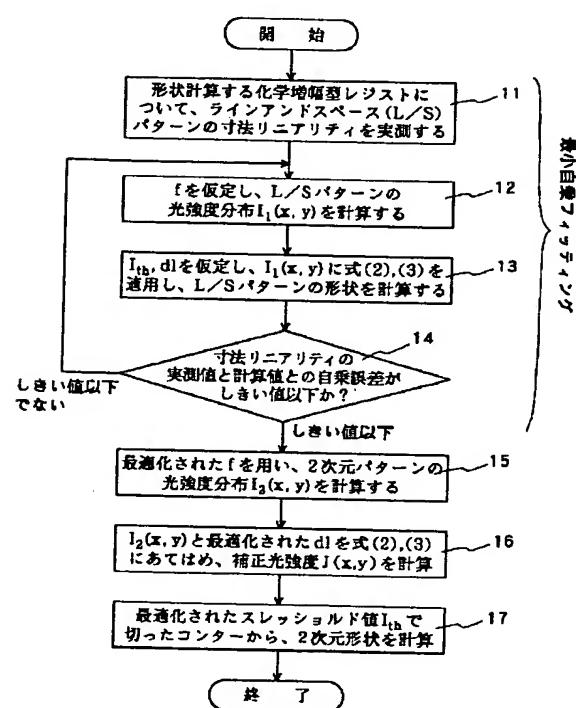
【符号の説明】

11～19　ステップ

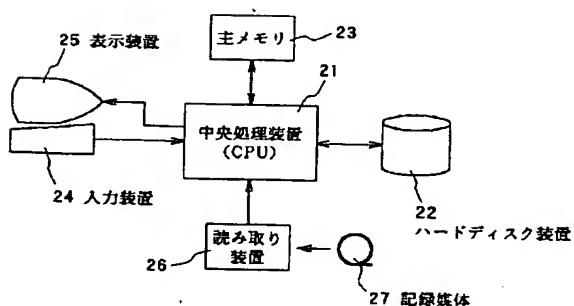
10

- * 2 1 中央処理装置
- 2 2 ハードディスク装置
- 2 3 主メモリ
- 2 4 入力装置
- 2 5 表示装置
- 2 6 読み取り装置
- 2 7 記録媒体

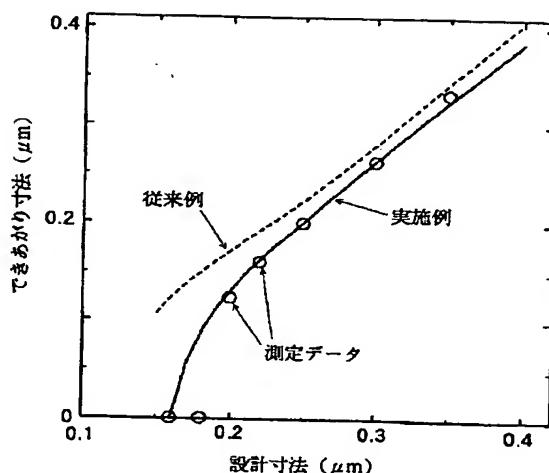
【図1】



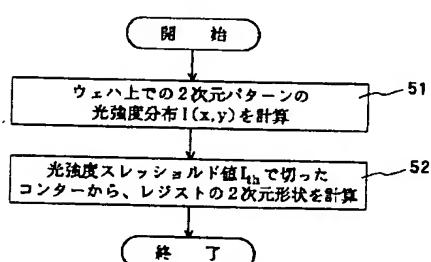
【図4】



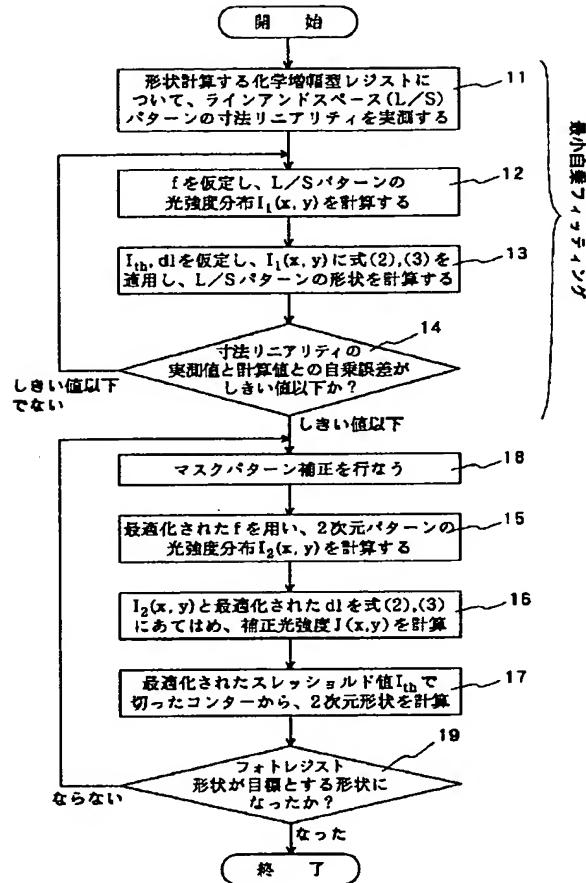
【図2】



【図5】



【図3】



THIS PAGE BLANK (USPTO)